

文章编号: 1000-4653(2023)03-0072-08

差异化港口默契合谋动态博弈稳定性研究

蒋璐, 董岗

(上海海事大学 经济管理学院, 上海 201306)

摘要:为研究区域内差异化的双寡头港口的定价策略和合谋倾向,运用改进的 Hotelling 模型建立单次静态博弈和动态博弈模型,计算博弈双方的均衡定价和均衡收益,将单次静态博弈和动态博弈中的均衡结果进行对比,分析默契合谋定价机理及其影响因素,并基于动态博弈和冷酷战略建立无限次重复博弈模型,分析港口在长期动态博弈中默契合谋的稳定性。结果表明只有当港口间的单位集装箱处理成本差异满足不同条件时,港口才能获得定价优势或吞吐量优势,同时发现在价格竞争中双方存在通过默契合谋进行价格操纵的可能,随着博弈次数的增多,价格领导方没有背叛合谋的动机,而价格跟随方背叛合谋的动机与港口的单位集装箱处理成本差异和临界贴现因子有关。

关键词:差异化;价格竞争;默契合谋;动态博弈;Hotelling 模型;冷酷战略

中图分类号: U691

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1000-4653.2023.03.011

On stability of tacit collusion in dynamic game between differentiated ports

JIANG Lu, DONG Gang

(School of Economics and Management, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China)

Abstract: The pricing strategy and collusion tendency of differentiated ports are studied for single static game and sequential game by the improved Hotelling model. In order to analyze the mechanism of tacit collusion and its influencing factors of pricing, the equilibrium results between single static game and dynamic game are compared. The infinitely repeated game model is established based on sequential game and grim strategy, and the stability of tacit collusion in the long-term game is analyzed. The research finds that only when the difference in unit container handling cost between ports meets certain conditions, one of the ports can obtain the pricing advantage or throughput advantage, and there is the possibility of price manipulation through tacit collusion. The price leader has no motivation to betray collusion while the times of game increases. Meantime, the price follower's motivation for betrayal of collusion is related to the cost difference and critical discount factor.

Key words: differentiation; price competition; tacit collusion; dynamic game; Hotelling model; grim strategy

在“一带一路”倡议下,我国沿海主要港口成为畅通国内国际双循环的重要枢纽节点,集装箱运输需求出现大幅增长,根据2021年9月29日《现代物流报》报道,截至2021年8月底,中国出口集装箱运价指数(China Container Freight Index, CCFI)已达3079点,较2019年同期上涨269.5%,较2020年同期上涨240.1%。数据显示,从2020年到2021年上半年,航运企业受益于运价的大幅度上涨取得了经

营业绩的爆发式增长^[1]。为了进一步推动新形势下港口行业的发展,我国《港口收费计费办法》持续规范港口经营服务性收费,切实增强企业的减负获得感。政府不断完善港口收费政策,使港口对收费价格有了更大自主权的同时,也加剧了港口之间尤其是区域港口之间的竞争。为规范港口经营行为,促进公平竞争,自2017年4月起,国家发改委同交通运输部依法对上海港和天津港开展反垄断调查并

收稿日期: 2021-11-18

基金项目: 教育部人文社会科学研究规划基金项目(22YJA630013)

作者简介: 蒋璐(1998—),女,硕士,研究方向为物流与供应链管理。E-mail: 202030710131@stu.shmtu.edu.cn

通信作者: 董岗(1979—),男,博士,教授,研究方向为港航物流与供应链管理。E-mail: gangdong@shmtu.edu.cn

引用格式: 蒋璐,董岗. 差异化港口默契合谋动态博弈稳定性研究[J]. 中国航海, 2023, 46(3): 72-79.

JIANG L, DONG G. On stability of tacit collusion in dynamic game between differentiated ports[J]. Navigation of China, 2023, 46(3): 72-79. (in Chinese)

查明其涉嫌违反《中华人民共和国反垄断法》,说明了部分港口企业存在垄断行为。

作为垄断协议的一种,合谋严重影响市场秩序。默契合谋理论的研究主要聚焦在默契合谋存在性及稳定性的分析,被应用于许多行业。港口企业的默契合谋是指寡头垄断港口以一种“非合作”的方式进行合作,港口可以仅通过观测(或预判)竞争对手的价格来调整自身决策行为^[2]。关于合谋存在性,KIM等^[3]发现奖励机制促进了默契合谋的产生。蔡继荣^[4]揭示了默契合谋下的市场价格操纵机理。MA等^[5]证明了京沪高铁的运营促进该航线上航空公司之间的默契合谋。基于序贯博弈,周晓晗等^[6]通过构建三阶段动态博弈模型探究了在存在技术溢出下领导企业与追随企业的研发合作动机。于述南等^[7]基于动态博弈研究了航空货运公司在即期市场的差别定价策略。此外,赵晓燕等^[8]发现通过班轮公司合并对服务网络进行调度优化可以降低运营成本。关于合谋的稳定性,张秋红等^[9]应用冷酷策略研究了电信产业默契合谋得以维持的激励条件。刘丰波等^[10]研究发现白酒行业产品存在纵向差异的情况下,采用价格领导制进行价格合谋极大地增强了默契合谋的稳定性。从供应链的角度出发,BIAN等^[11]研究了零售商在不同竞争模式下制造商之间的横向合谋激励。BARBOT^[12]研究了2条航空运输链上机场与航空公司的纵向合谋激励。

在海运业关于港口企业定价博弈和默契合谋的研究主要有以下内容。周丽莹等^[13]研究了3个港口间不同联合情形下的定价策略。程健南等^[14]通过建立港口投资模型,证明了在多港口地区的港口投资存在唯一的纳什均衡解。DONG等^[15]研究发现价格匹配策略促进了集装箱码头之间的默契合谋。WANG等^[16]基于非合作博弈研究了一个港口内两码头之间的投资策略选择。赵旭等^[17]发现当背叛合谋的费用大于维持合谋费用的一半时,港口间合谋具有稳定性。从航运链的角度出发,LIU等^[18]研究了海上运输链中下游承运人的横向联盟动机,研究发现承运人之间的联盟削弱了港口的垄断优势并证明了联盟具有一定的稳健性。ZHU等^[19]研究发现纵向一体化有利于港口扩张,并通过数值分析证明社会福利也会有所增加。

企业差异化特征表现在许多方面。MELITZ等^[20]首次将企业异质性(主要指生产效率差异)引入国际贸易的均衡模型中。尹恒等^[21]研究了异质企业环境下增值税减税的效应,在理论模型中考虑的企业异质性特征包括横向和纵向需求异质、成本

加成率差异和生产率差异;体现港口企业的差异不局限于以上方面,还包括经营范围、港口类型、功能服务等。但本文聚焦港口单位集装箱处理成本和港口设计吞吐能力的差异对港口动态博弈及合谋稳定性的影响,故将差异体现在单位集装箱处理成本和港口设计吞吐能力的不同。

综上所述,现有研究大多围绕默契合谋的存在性、影响默契合谋稳定性的因素、航运链纵向整合对横向合谋的传导机制等,而关于单位集装箱处理成本和港口设计吞吐能力的差异对港口动态联盟及其稳定性影响的研究较少。DONG等^[22]从集装箱运输链的角度出发研究了成本差异对纵向合谋的影响,探究了成本差异的大小与合谋可能性的关系。SONG等^[23]从航运链的角度研究了下游船公司在面对异质港口时如何对自身与港口的合作模式做出均衡选择,不涉及异质港口之间的动态联盟分析。张得志等^[24]基于公铁联运,假设竞合决策模型分为分散决策模型和集体决策模型,但该模型分别是以自身和集体利润最大化为基础的静态博弈,且只考虑单次博弈情况。本文考虑单位集装箱处理成本和港口设计吞吐能力差异化,利用改进的Hotelling模型研究区域内港口的非合作定价博弈,探究在动态博弈中港口是否存在默契合谋的动机,构建基于动态博弈和冷酷战略的无限次重复博弈模型以讨论价格领导方和价格跟随方在长期博弈中背叛合谋的动机。

1 基本假设

1.1 市场假设

假设区域内2个在单位集装箱处理成本和港口设计吞吐能力上有差异的集装箱港口1和2的集装箱单位处理成本分别为 c_1 和 c_2 ,港口1和2的设计吞吐能力分别为 k_1 和 k_2 。不失一般性地,令港口的固定成本为0。其中,港口1的集装箱单位处理成本 c_1 较小且港口设计吞吐能力 k_1 较弱,称之为效率型港口;港口2的集装箱单位处理成本 c_2 较大且港口设计吞吐能力 k_2 较强,称之为灵活型港口^[23],即 $c_1 < c_2, k_1 < k_2$ 。假设港口 i 选择自身的服务价格 p_i ,其竞争对手选择服务价格 p_j 。港口为托运人提供的服务在质量上有所区别,但是仍具有很强的替代性。

1.2 托运人及效用函数假设

假设效率型港口1与灵活型港口2分别位于水平线段 $[0, 1]$ 两端的位置,两港口独立竞争托运人,托运人总量标准化为1,并均匀地分布在2个港口之间。托运人在线段中的位置表示为 x ,托运人到

港口1、2的距离分别为 x 和 $1-x$ 。

虽然港口向托运人提供的服务有很强的替代性,但是由于2个港口在集装箱单位处理成本和设计吞吐能力上存在较大差异,因此提供的服务水平不同,于是托运人获得的实际效用存在差异。

托运人选择效率型港口1与灵活型港口2的效用函数分别为

$$\begin{cases} U_1 = u_0 - p_1 - tx - \eta D_1 \\ U_2 = u_0 - p_2 - t(1-x) - \eta D_2 \end{cases} \quad (1)$$

其中, u_0 是常数,表示托运人的基本效用; t 表示托运人到港口的单位内陆运输成本; η 为托运人的时间价值, η 越大,说明托运人时间价值越大,对拥挤越厌恶; R_i 表示港口设计吞吐能力 k_i 的倒数^[25], q_i 表示港口 i 的托运人数量, $D_i = q_i \cdot R_i$ 表示港口 i 的拥堵程度。

假设存在 $[0,1]$ 之间的某个特殊位置 x ,在这位置上托运人选择港口1和2所得的效用无差异,即

$$U_1 = U_2 \quad (2)$$

由式(1)和式(2)解得两个港口的需求函数:

$$\begin{cases} q_1 = x = \frac{p_2 - p_1 + t + \eta R_2}{\eta R_1 + \eta R_2 + 2t} \\ q_2 = 1 - x = \frac{p_1 - p_2 + t + \eta R_1}{\eta R_1 + \eta R_2 + 2t} \end{cases} \quad (3)$$

在单次博弈的基础上关于定价决策的顺序,本文将讨论两种情形:一是单次静态博弈,即2个竞争的差异化港口同时决策;二是单次动态博弈,即效率型港口1作为领导方先进行定价决策,灵活型港口2作为跟随方进行定价决策。当港口2作为价格领导方,港口1作为价格跟随方时,计算结果对称,故本文只讨论其中一种情况。

2 模型的建立与求解

2.1 单次静态博弈模型

当2个港口处于静态博弈时,港口 i 的利润函数为:

$$\pi_i = (p_i - c_i) \cdot q_i \quad (4)$$

每个港口在考虑竞争对手的定价下都将追求自身利润最大化,由此得到港口 i 对港口 j 的反应函数为:

$$p_i = \frac{p_j + t + c_i + \eta R_i}{2} \quad (5)$$

根据每个港口的一阶最优化条件可求得效率型港口1和灵活型港口2的均衡价格分别为:

$$p_{1,n}^* = \frac{\eta R_1 + 2c_1 + c_2 + 2\eta R_2}{3} + t \quad (6)$$

$$p_{2,n}^* = \frac{\eta R_2 + 2c_2 + c_1 + 2\eta R_1}{3} + t \quad (7)$$

均衡吞吐量分别为:

$$q_{1,n}^* = \frac{\eta R_1 + 2\eta R_2 + c_2 - c_1 + 3t}{3(\eta R_1 + 2t + \eta R_2)} \quad (8)$$

$$q_{2,n}^* = \frac{\eta R_2 + 2\eta R_1 + c_1 - c_2 + 3t}{3(\eta R_1 + 2t + \eta R_2)} \quad (9)$$

均衡利润分别为:

$$\pi_{1,n}^* = \frac{(\eta R_1 + 2\eta R_2 + c_2 - c_1 + 3t)^2}{9(\eta R_1 + 2t + \eta R_2)} \quad (10)$$

$$\pi_{2,n}^* = \frac{(\eta R_2 + 2\eta R_1 + c_1 - c_2 + 3t)^2}{9(\eta R_1 + 2t + \eta R_2)} \quad (11)$$

2.2 单次动态博弈模型

当2个港口处于动态博弈时,博弈的顺序为:第一阶段,效率型港口选择自身服务价格 $p_{1,s}^*$ ($p_{1,s}^* > p_{1,n}^* > 0$);第二阶段,灵活型港口观察到效率型港口的定价后,选择自身服务价格 $p_{2,s}^* > 0$ 。

利用逆向归纳法进行求解,首先计算灵活型港口针对效率型港口的选择做出的最优反应,灵活型港口的目标函数是使自身利润最大化:

$$\max_{p_2} \pi_2 = \max_{p_2} (p_2 - c_2) \frac{p_1 - p_2 + t + \eta R_1}{\eta R_1 + 2t + \eta R_2} \quad (12)$$

将式(12)对 p_2 求一阶最优化条件,解得:

$$p_2 = r_2(p_1) = \frac{p_1 + c_2 + t + \eta R_1}{2} \quad (13)$$

式(13)中 $r_2(p_1)$ 表示灵活型港口观察到效率型港口的定价后做出的真实反应,同时,效率型港口可以预测到灵活型港口的反应,于是效率型港口根据预测到的灵活型港口的反应做出选择。因此,效率型港口面临的问题是:

$$\max_{p_1} \pi_1(p_1, r_2(p_1)) =$$

$$\max_{p_1} (p_1 - c_1) \frac{r_2(p_1) - p_1 + t + \eta R_2}{\eta R_1 + 2t + \eta R_2} \quad (14)$$

由式(14)解得效率型港口的最优定价为:

$$p_{1,s}^* = \frac{c_1 + c_2 + 3t + \eta R_1 + 2\eta R_2}{2} \quad (15)$$

将式(15)代入式(13)得到灵活型港口的最优定价为

$$p_{2,s}^* = \frac{3c_2 + c_1 + 5t + 2\eta R_2 + 3\eta R_1}{4} \quad (16)$$

将式(15)和(16)代入式(3),得到2个港口的最优吞吐量分别为

$$q_{1,s}^* = \frac{c_2 - c_1 + 3t + 2\eta R_2 + \eta R_1}{4(\eta R_1 + 2t + \eta R_2)} \quad (17)$$

$$q_{2,s}^* = \frac{c_1 - c_2 + 5t + 3\eta R_1 + 2\eta R_2}{4(\eta R_1 + 2t + \eta R_2)} \quad (18)$$

将式(15)、(16)和式(17)、(18)代入式(12)、(14),求得2个港口的均衡利润分别为

$$\pi_{1,s}^* = \frac{(c_2 - c_1 + 3t + \eta R_1 + 2\eta R_2)^2}{8(\eta R_1 + 2t + \eta R_2)} \quad (19)$$

$$\pi_{2,s}^* = \frac{(c_1 - c_2 + 5t + 2\eta R_2 + 3\eta R_1)^2}{16(\eta R_1 + 2t + \eta R_2)} \quad (20)$$

命题1:动态博弈中,当 $c_2 - c_1 > t - \eta R_1 + 2\eta R_2$ 时,灵活型港口定价高于效率型港口;当 $c_2 - c_1 = t - \eta R_1 + 2\eta R_2$ 时,两港口定价相同;当 $c_2 - c_1 < t - \eta R_1 + 2\eta R_2$ 时,效率型港口高于灵活型港口。

证明及分析:

$$\Delta p_s^* = p_{2,s}^* - p_{1,s}^* = \frac{c_2 - c_1 - t + \eta R_1 - 2\eta R_2}{4} \quad (21)$$

由于 p_i 与 c_i 呈正相关,所以港口自身集装箱单位处理成本越高,定价越高,由式(16)可以看出,灵活型港口受自身成本的影响更大。同时, p_i 与 k_i 呈负相关,所以随着港口自身设计吞吐能力增强,港口收费降低。因为如果港口设计吞吐能力弱,发生拥堵产生拥堵成本,最终由托运人承担的拥堵成本增大。但是如果 k_i 越大,托运人承担的拥堵成本就越少,港口定价就越低。由于灵活型港口的设计吞吐能力较强,本可以有较低定价,但其成本相较于效率型港口也较高,因此根据 Δp_s^* 可知,在动态博弈中,只有当两港口的单位集装箱处理成本之差 $c_2 - c_1 < t - \eta R_1 + 2\eta R_2$ 时,灵活型港口才具有价格优势。

命题2:动态博弈中,当 $c_2 - c_1 > t + \eta R_1$ 时,效率型港口的吞吐量高于灵活型港口;当 $c_2 - c_1 = t + \eta R_1$ 时,2港口吞吐量相同;当 $c_2 - c_1 < t + \eta R_1$ 时,灵活型港口吞吐量将高于效率型港口。

证明及分析:由式(17)和(18)可知,港口吞吐量 q_i 与自身单位处理成本 c_i 呈负相关,而与竞争对手的单位处理成本呈正相关,这符合实际情况。由于港口单位处理成本大,港口的均衡定价高,致使吞吐量有所下降;若自身处理成本较低,则具有更大的定价自由,价格偏低,导致吞吐量上涨。同时, q_i 与 k_i 呈正相关,即港口吞吐量随着港口设计吞吐能力的提高而提高,所以港口可以加大投资以提高自身港口设计吞吐能力^[26],但是这会导致港口投资成本增加,进而转化为集装箱处理成本。因此,尽管 $k_1 < k_2$,只有当两港口的单位集装箱处理成本之差 $c_2 - c_1 > t + \eta R_1$ 时,效率型港口才具有吞吐量优势。

命题3:对于给定的港口设计吞吐能力 k ,港口定价与托运人的单位内陆运输成本 t 和时间价值 η 呈正相关。

证明及分析:由式(6)、(7)、(15)、(16)可知,如果港口设计吞吐能力既定,托运人的单位内陆运输成本 t 越高,港口定价越高,且港口定价随托运人时间价值增加而增加,与 BASSO 等^[27]的结论一致。

3 单次静态博弈和单次动态博弈的均衡比较

计算结果表明,港口在不同的博弈状态下会得到不同的利润值、收费价格和吞吐量。在面对不同的利润结果时,2个港口将如何选择自身的收费价格是值得分析的问题。将单次静态博弈和动态博弈的均衡结果进行比较,得出以下结论并分析。

命题4:效率型港口在预测到灵活型港口的反应后存在提高自身服务价格的动机,且效率型港口首先提价后灵活型港口也会跟着提价,但是提价幅度小于效率型港口。

证明及分析:

$$\Delta \pi_1 = \pi_{1,s}^* - \pi_{1,n}^* = \frac{(c_2 - c_1 + 3t + \eta R_1 + 2\eta R_2)^2}{72(\eta R_1 + 2t + \eta R_2)} > 0 \quad (22)$$

$$\Delta p_1 = p_{1,s}^* - p_{1,n}^* = \frac{c_2 - c_1 + 3t + \eta R_1 + 2\eta R_2}{6} > 0 \quad (23)$$

$$\Delta p_2 = p_{2,s}^* - p_{2,n}^* = \frac{c_2 - c_1 + 15t + \eta R_1 + 2\eta R_2}{4} > 0 \quad (24)$$

计算效率型港口在2种博弈状态下的利润差,由于 $\Delta \pi_1 > 0$,即效率型港口提高价格后均衡利润也增加了,所以效率型港口存在提价激励。因为 $\Delta p_1 > 0$, $\Delta p_2 > 0$,表明灵活型港口在观察到效率型港口提高价格后也有可能选择提价,将2个港口的提价幅度进行比较发现: $\Delta p_1 / \Delta p_2 > 1$,即灵活型港口的提价幅度小于效率型港口。

命题5:灵活型港口作为价格跟随方具有后动优势,其吞吐量上涨幅度将大于效率型港口,最终利润也得到提升。

证明及分析:

$$\Delta q_2 = q_{2,s}^* - q_{2,n}^* = \frac{c_2 - c_1 + 3t + \eta R_1 + 2\eta R_2}{12(\eta R_1 + 2t + \eta R_2)} > 0 \quad (25)$$

计算灵活型港口在2种博弈状态下的吞吐量变化幅度发现 $\Delta q_2 > 0$ 且 $\Delta q_1 / \Delta q_2 < 1$ 可知,灵活型港口吞吐量上升,且上升幅度大于效率型港口。这是因为灵活型港口的提价幅度小于效率型港口,具有后动优势,较为优势的定价策略使港口占据更大的市场,所以灵活型港口的吞吐量上涨幅度大于效率型港口,最终两港口的均衡利润均得到增加。

推论:在价格领导制的动态博弈中,差异化的港口存在通过默契合谋进行价格操纵的动机。

实际情况下港口之间进行单次博弈是不现实的。随着时间的推移,港口是否会为了实现自身利

益最大化和吞吐量最大化而改变定价策略,默契合谋是否稳定值得思考。根据命题4,效率型港口吞吐量增长幅度小于灵活型港口,吞吐量指标不乐观,在长期博弈中效率型港口可能背叛合谋。

灵活型港口作为价格跟随方如果在博弈某一阶段背叛合谋,当期可以获得大于合谋收益的背叛收益,在利益最大化目的的驱动下,跟随方存在首先背叛合谋的可能。本文分别从价格领导方和价格跟随方的视角讨论港口默契合谋定价在无限次重复博弈中的稳定性。

4 无限次重复博弈

假设博弈重复无限多次,令贴现因子为 $\delta(0 < \delta < 1)$,两港口贴现因子相同, δ 越大,说明博弈方越有耐心,将该博弈记为 $G(\infty, \delta)$ 。假设博弈共有 t 个阶段, $t \rightarrow +\infty$ 在无限次重复博弈中,成功合谋的条件是合谋收益大于背叛收益,即合作战略的收益大于冷酷战略的收益。在动态博弈的基础上分2种情况讨论无限重复博弈下默契合谋的稳定性:一是价格领导方是否存在背叛合谋的动机,二是价格跟随方是否存在背叛合谋动机。

4.1 价格领导方维持合谋的激励

4.1.1 合作战略

该战略下效率型港口和灵活型港口在无限重复博弈中始终采取合作战略,没有背叛合谋发生。

博弈第一阶段,当作为价格领导方的效率型港口选择合谋价格 $p_{1,s}^*$ 时,灵活型港口作为跟随者可以看到效率型港口的合谋态度,选择跟随策略,确定合谋价格 $p_{2,s}^*$;之后,2个港口始终保持合作战略,效率型港口的各期总收益为

$$V_{1,c} = \pi_{1,s}^*(1 + \delta + \delta^2 + \dots + \delta^t) = \frac{\pi_{1,s}^*(1 - \delta^{t+1})}{1 - \delta} \quad (26)$$

$$\text{当 } t \rightarrow +\infty \text{ 时, } V_{1,c} = \frac{\pi_{1,s}^*}{1 - \delta}$$

4.1.2 冷酷战略

该战略下参与人的一次不合作行为将导致永久不合作,参与人没有改正错误的机会。即如果效率型港口背叛合谋,灵活型港口将采取冷酷战略。

博弈第一阶段,效率型港口选择合谋价格,灵活型港口选择跟随策略;第二阶段,效率型港口选择低于合谋的价格 $p_{1,D}(p_{1,n}^* \leq p_{1,D} \leq p_{1,s}^*)$ 时,灵活型港口

$$\pi_{2,D} = \frac{(c_1 - c_2 + 9t + 5\eta R_1 + 4\eta R_2)(c_1 - c_2 + 3t + 2\eta R_1 + \eta R_2)}{18(\eta R_1 + 2t + \eta R_2)} > \pi_{2,s}^* \quad (31)$$

博弈第二阶段,效率型港口观察到灵活型港口在上一阶段的背叛行为后,在该阶段采取冷酷战略,

观察到背叛行为,选择更低的定价 $p_{2,D}(p_{2,n}^* \leq p_{2,D} \leq p_{1,D})$,灵活型港口的低价使自身获得远大于效率型港口的市场份额(在极端情况下甚至占有全部市场),所以效率型港口的当期收益为 $\pi_{1,D}(\pi_{1,D} \rightarrow 0)$ 。灵活型港口采取冷酷战略,博弈第三阶段至以后每一阶段都无法达成合谋,因此两港口回到同时竞争的均衡状态。因此,效率型港口的各期总收益最大不超过

$$V_{1,D} = \pi_{1,s}^* + \delta\pi_{1,D} + (\delta^2 + \delta^3 + \dots + \delta^t)\pi_{1,n}^* = \pi_{1,s}^* + \frac{\delta^2\pi_{1,n}^*}{1 - \delta}(t \rightarrow +\infty) \quad (27)$$

由式(21)和式(22)得:

$$V_{1,c} - V_{1,D} = \frac{\delta}{1 - \delta}(\pi_{1,s}^* - \delta\pi_{1,n}^*) > 0 \quad (28)$$

命题6:当作为价格跟随方的灵活型港口不首先背叛合谋时,作为价格领导方的效率型港口不会选择背叛,默契合谋稳定性强。

证明及分析:由式(28)可知,在无限次重复博弈中,效率型港口选择一直合谋的各期总收益大于背叛合谋的各期总收益。因此,作为价格领导方的效率型港口没有背叛合谋的动机。

4.2 价格跟随方维持合谋的激励

4.2.1 合作战略

与前文分析相同。博弈的每一阶段,效率型港口选择合谋价格 $p_{1,s}^*$,灵活型港口选择跟随策略 $p_{2,s}^*$,两港口始终保持合作战略。灵活型港口的各期总收益为

$$V_{2,c} = \pi_{2,s}^*(1 + \delta + \delta^2 + \dots + \delta^t) = \frac{\pi_{2,s}^*}{1 - \delta}(t \rightarrow +\infty) \quad (29)$$

4.2.2 冷酷战略

该战略下若灵活型港口背叛合谋,效率型港口将采取冷酷战略。博弈第一阶段,效率型港口选择合谋价格 $p_{1,s}^*$,灵活型港口选择背叛合谋的价格 $p_{1,D}(p_{1,n}^* \leq p_{1,D} < p_{1,s}^*)$ 。

由式(3)可得效率型港口选择合谋,灵活型港口背叛合谋时各自的吞吐量

$$\begin{cases} q_{1,c} = \frac{c_2 - c_1 + 3t + \eta R_1 + 2\eta R_2}{6(\eta R_1 + 2t + \eta R_2)} \\ q_{2,D} = \frac{c_1 - c_2 + 9t + 5\eta R_1 + 4\eta R_2}{6(\eta R_1 + 2t + \eta R_2)} \end{cases} \quad (30)$$

由式(4)和(30)可得灵活型港口背叛谋的利润

并且可以预期到灵活型港口会在自己降价后再降价,所以效率型港口会直接将价格降低到竞争时的

均衡价格 $p_{1,n}^*$, 此后每一阶段, 两港口进入同时博弈下的竞争状态, 收益趋于竞争时的均衡收益。因此, 灵活型港口的各期总收益为

$$V_{2,D} = \pi_{2,D} + \pi_{2,n}^* (\delta + \delta^2 + \delta^3 + \dots + \delta^n) = \pi_{2,D} + \frac{\delta \pi_{2,n}^*}{1 - \delta} \quad (32)$$

由式(29)减去式(32)得:

$$V_{2,C} - V_{2,D} = \frac{\pi_{2,s}^*}{1 - \delta} - \pi_{2,D} - \frac{\delta}{1 - \delta} \pi_{2,n}^* \quad (33)$$

令式(33)等于0, 解得临界值的贴现因子为:

$$\delta' = \frac{-3t + c_1 - c_2 - \eta R_1 - 2\eta R_2}{8(3t + c_1 - c_2 + 2\eta R_1 + \eta R_2)} \quad (34)$$

命题7: 若成本差异较小, 灵活型港口没有背叛合谋的动机, 默契合谋稳定性强; 若成本差异较大, 当临界贴现因子 δ' 较小时, 合谋稳定性适中; 当 δ' 较大时, 合谋稳定性较弱。

证明及分析: 如表1所示, 当港口的成本差异较小时, 无限次重复博弈下的贴现因子大于临界值贴现因子, 此时合谋稳定性强。当成本差异较大时, 合谋稳定性与临界贴现因子相关, 若贴现因子大于临界值贴现因子, 选择维持合谋的利润更大, 不背叛对灵活型港口更有利, 合谋稳定性适中; 若贴现因子小于临界值贴现因子, 选择背叛合谋利润更大, 背叛对灵活型港口更有利, 合谋稳定性弱。

表1 不同成本差异和临界贴现因子下的合谋稳定性比较
Tab.1 Comparison of collusion stability under different cost differences and critical discount factors

	$c_2 - c_1 < 3t + 2\eta R_1 + \eta R_2$	$c_2 - c_1 > 3t + 2\eta R_1 + \eta R_2$	
贴现因子	$\delta' < 0 < \delta$	$0 < \delta' < \delta < 1$	$0 < \delta < \delta' < 1$
合谋稳定性	合谋稳定性强	合谋稳定性适中	合谋稳定性弱

5 算例分析

本文将进行算例分析以验证上述模型, 根据SONG^[23]对单位处理成本和港口设计吞吐能力有差异的港口的假设, 现取如下数值: 效率型港口的集装箱单位处理成本 $c_1 = 0$, 港口设计吞吐能力 $k_1 = 1$; 效率型港口的集装箱单位处理成本 $c_2 = 1$, 港口设计吞吐能力 $k_2 = 2$; 托运人单位内陆运输成本 $t = 1$, 时间价值 $\eta = 5$ 。

5.1 单次动态博弈模型

将上述数值分别代入式(15)和(16)得: $p_{1,s}^* = 13$, $p_{2,s}^* = 12$, $p_{1,s}^* > p_{2,s}^*$ 。计算结果表明:

1) 效率型港口的定价高于灵活型港口, 只有当

灵活型港口成本足够大时, 情况有所改变。假设 c_1 不变, $c_2 = 5$, 此时满足条件 $c_2 = c_1 + t - \eta R_1 + 2\eta R_2$, 计算可得: $p_{1,s}^* = 15$, $p_{2,s}^* = 15$, 表明两港口的定价相同; 假设 c_1 不变, $c_2 = 6$, 解得: $p_{1,s}^* = 15.50$, $p_{2,s}^* = 15.75$, 此时, 灵活型港口的定价高于效率型港口。综上, 命题1的结论得证。

2) 灵活型港口的吞吐量大于效率型港口, 当灵活型港口成本足够大时, 情况有所改变。假设 c_1 不变, $c_2 = 10$, 满足条件 $c_2 = c_1 + t + \eta R_1$, 计算得: $q_{1,s}^* = 0.67$, $q_{2,s}^* = 0.67$, 结果表明两港口的吞吐量相同; 假设 c_1 不变, $c_2 = 11$, 满足条件 $c_2 > c_1 + t + \eta R_1$, 得: $q_{1,s}^* = 0.68$, $q_{2,s}^* = 0.64$, 表明效率型港口的吞吐量大于灵活型港口。综上, 命题2的结论得证。

5.2 单次静态博弈和单次动态博弈的比较

将上述数值分别代入式(6)~(11)和式(17)~(20), 计算结果如表2所示。

1) 由表2可知: $\Delta p_1 = p_{1,s}^* - p_{2,n}^* = 4.33 > 0$, $\Delta \pi_1 = \pi_{1,s}^* - \pi_{1,n}^* = 0.54 > 0$, 表明效率型港口如果采取提价措施, 提价后的利润增大; $\Delta p_2 = p_{2,s}^* - p_{2,n}^* = 2.17 > 0$, $\Delta p_1 / \Delta p_2 = 2.00 > 1$, 表明效率型港口提价后灵活型港口会跟随提价, 且提价幅度小于效率型港口。综上, 命题4得证。

2) 根据表2的计算结果得到: $\Delta q_1 = q_{1,s}^* - q_{1,n}^* = -0.13 < 0$, $\Delta q_2 = q_{2,s}^* - q_{2,n}^* = 0.13 > 0$ 且 $\Delta \pi_2 = \pi_{2,s}^* - \pi_{2,n}^* = 2.45 > 0$, 表明效率型港口作为价格领导者吞吐量指标下降, 而灵活型港口作为价格跟随者吞吐量指标上升, 最终利润也得以增加。综上, 命题5得证。

表2 差异化的港口在不同博弈状态下的均衡结果
Tab.2 Equilibrium results of heterogeneous ports under different game states

港口类型	博弈类型	p^*	q^*	π^*
效率型	单次静态博弈	8.67	0.5	4.29
港口1	单次动态博弈	13	0.37	4.83
灵活型	单次静态博弈	9.83	0.5	4.46
港口2	单次动态博弈	12	0.63	6.91

5.3 无限次重复博弈模型

1) 将上述数值代入式(28)得: $V_{1,C} - V_{1,D} = \frac{\delta(\pi_{1,s}^* - \pi_{1,n}^*)}{1 - \delta} = \frac{\delta(4.83 - 4.29\delta)}{1 - \delta}$, 由于 $\delta \in (0, 1)$, 所以 $V_{1,C} - V_{1,D} > 0$ 。表明在无限次重复博弈中作为价格领导方的效率型港口没有背叛合谋的动机。

2) 上述取值满足条件: $c_2 - c_1 < 3t + 2\eta R_1 + \eta R_2$, 代入式(33)和(34); 令条件 $c_2 - c_1 > 3t + 2\eta R_1$

+ ηR_2 和 $0 < \delta' < \delta < 1$ 满足,取 c_1 不变, $c_2 = 50$ 进行计算;同理对满足条件 $0 < \delta < \delta' < 1$ 的数值进行计算,结果如表3所示。

表3 价格跟随方背叛合谋的动机

Tab.3 The motivation of price follower to betray collusion

	成本差异较小	成本差异较大	
	$c_2 - c_1 < 3t + 2\eta R_1 + \eta R_2$	$c_2 - c_1 > 3t + 2\eta R_1 + \eta R_2$	
	$\delta' < 0 < \delta$	$0 < \delta' < \delta < 1$	$0 < \delta < \delta' < 1$
δ'	-0.12	0.42	0.52
ΔV_2	3.98	0.93	-0.51

表3中 $\Delta V_2 = V_{2,C} - V_{2,D}$,当成本差异较小时,有 $\Delta V_2 > 0$,灵活型港口维持合谋的各期总收益大于背叛合谋的各期总收益,表明灵活型港口没有背叛合谋的动机。当成本差异较大时,若 $0 < \delta' < \delta < 1$,有 $\Delta V_2 > 0$,表示背叛合谋的总收益小于维持合谋的总收益,港口灵活型没有背叛合谋的动机,若 $0 < \delta < \delta' < 1$,有 $\Delta V_2 < 0$,表示背叛合谋的总收益大于维持合谋的总收益,选择背叛合谋更有利,合谋不稳定。综上,命题6和命题7得证。

6 结束语

本文改进 Hotelling 模型,基于港口的差异化特征在单次静态博弈、单次动态博弈和无限次重复博弈中分析了港口定价及合谋策略选择。研究发现在港口间的动态博弈中,当价格跟随方与价格领导方的成本差异较小时,价格跟随方具有定价优势,当差异较大时,价格领导方具有吞吐量优势。比较静态博弈和动态博弈的均衡结果,发现在动态博弈下两港口的均衡利润均得到提升,表明博弈双方均具有默契合谋提高价格的动机。但是默契合谋提高价格后价格领导方的吞吐量指标下降,且价格跟随方有后动优势,双方均有背离合谋的可能性。故分别从价格领导方和价格跟随方的视角继续分析在无限次重复博弈下默契合谋的稳定性。结果表明,如果作为价格跟随方的灵活型港口不首先背叛合谋,作为价格领导方的效率型港口不会选择背叛,默契合谋稳定性强;如果作为价格领导方的效率型港口不首先背叛合谋,作为价格跟随方的灵活型港口背叛合谋的动机与港口的成本差异、临界贴现因子有关,成本差异越小合谋越稳定,临界贴现因子越大合谋稳定性越弱。

本文的贡献在于聚焦了港口的单位集装箱处理成本和港口设计吞吐能力差异,并基于动态博弈和冷酷战略建立无限重复博弈模型,分别从博弈双方

的视角分析了默契合谋在长期动态博弈中得以稳定的条件。研究表明差异化的港口在价格竞争时也存在通过默契合谋进行操纵价格的动机,并揭示了成本差异与合谋稳定性的关系,为交通和物价等部门加强港口收费行为监管提供了决策依据。本文尚未考虑差异化条件下航运链上游港口之间默契合谋对下游船公司以及社会福利产生的影响,并且需求不确定是影响航运企业决策的重要影响因素,未来的研究将弥补这一不足。

参考文献

- [1] 章轲. 集装箱“疯狂运价”背后存在行业垄断? [N]. 现代物流报, 2021-09-29(3).
ZHANG K. Is there an industry monopoly behind the “crazy freight rate” of containers? [N]. Modern Logistics News, 2021-09-29(3). (in Chinese)
- [2] 李雪. 产品差别化、市场透明度与合谋 [D]. 上海: 上海财经大学, 2006.
LI X. Product differentiation, market transparency and collusion [D]. Shanghai: Shanghai University of Finance and Economics, 2006. (in Chinese)
- [3] KIM B D, SHI M Z, SRINIVASAN K. Reward programs and tacit collusion [J]. Marketing Science, 2001, 20(2): 99-120.
- [4] 蔡继荣. 默契合谋下的市场价格操纵机理分析 [J]. 重庆工商大学学报(自然科学版), 2011, 28(3): 250-253.
CAI J R. Analysis of market price manipulation mechanism under tacit collusion [J]. Journal of Chongqing Technology and Business University (Natural Science Edition), 2011, 28(3): 250-253. (in Chinese)
- [5] MA W L, WANG Q, YANG H J, et al. Effects of Beijing-Shanghai high-speed rail on air travel: passenger types, airline groups and tacit collusion [J]. Research in Transportation Economics, 2019, 74: 64-76.
- [6] 周晓晗, 张江华, 徐进. 基于序贯博弈的企业研发合作动机研究 [J]. 管理科学学报, 2021, 24(2): 111-126.
ZHOU X H, ZHANG J H, XU J. Research on enterprise R&D cooperation motivation based on sequential game [J]. Journal of Management Science in China, 2021, 24(2): 111-126. (in Chinese)
- [7] 于述南, 杨忠振, 陈康, 等. 航空货运公司动态博弈下的即期舱位差别定价决策 [J]. 交通运输工程学报, 2019, 19(5): 162-169.
YU S N, YANG Z Z, CHEN K, et al. Differential pricing decision of spot space under the dynamic game of air cargo companies [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2019, 19(5): 162-169. (in Chinese)

- [8] 赵晓燕,胡坚堃,黄有方. 班轮企业合并背景下的服务网络优化[J]. 中国航海,2020,43(2):112-117.
ZHAO X Y, HU J K, HUANG Y F. Service network optimization under the background of liner business merger[J]. Navigation of China,2020,43(2):112-117. (in Chinese)
- [9] 张秋红,刘国亮. 电信产业默契合谋的存在性与稳定性分析[J]. 技术经济与管理研究,2011(7):111-114.
ZHANG Q H, LIU G L. Analysis of the existence and stability of tacit collusion in the telecommunications industry [J]. Journal of Technical Economics & Management,2011(7):111-114. (in Chinese)
- [10] 刘丰波,吴绪亮. 基于价格领导制的默契合谋与反垄
断规制——来自中国白酒市场的证据[J]. 中国工业
经济,2016(4):75-92.
LIU F B, WU X L. Tacit collusion and anti-monopoly
regulation based on price leadership system: evidence
from China's liquor market [J]. China Industrial
Economics,2016(4):75-92. (in Chinese)
- [11] BIAN J, LAI K K, HUA Z, et al. Bertrand vs.
Cournot competition in distribution channels with
upstream collusion [J]. International Journal of
Production Economics, 2018,204:278-289.
- [12] BARBOT C. Airport and airlines competition;
Incentives for vertical collusion [J]. Transportation
Research Part B: Methodological, 2009, 43 (10):
952-965.
- [13] 周利莹,陈广俊,郭丽彬. 基于三港口竞合的定价策
略研究[J]. 物流工程与管理,2017,39(1):37-41.
ZHOU L Y, CHEN G J, GUO L B. Research on pricing
strategy based on competition and cooperation of three
ports[J]. Logistics Engineering and Management,2017,
39(1):37-41. (in Chinese)
- [14] 程健南,杨忠振. 我国多港口地区港口投资均衡状态
分析[J]. 中国航海,2018,41(4):116-121.
CHENG J N, YANG Z Z. Analysis of port investment
equilibrium in multi port areas in China[J]. Navigation
of China, 2018,41(4):116-121. (in Chinese)
- [15] DONG G, HUANG R B, PEGGY N G. Tacit collusion
between two terminals of a port [J]. Transportation
Research Part E: Logistics and Transportation Review,
2016,93:199-211.
- [16] WANG C X, XIE F J, XU L. Which terminals should
expand investment: a perspective of internal non-
cooperative competition in a port? [J]. Maritime Policy
& Management, 2020, 47(6):718-735.
- [17] 赵旭,王晓伟,周巧琳. “海上丝绸之路”背景下的港
口战略联盟稳定性研究[J]. 大连海事大学学报,
2016,42(2):117-123.
ZHAO X, WANG X W, ZHOU Q L. Research on the
stability of port strategic alliances under the background
of “Maritime Silk Road” [J]. Journal of Dalian Maritime
University,2016,42(2):117-123. (in Chinese)
- [18] LIU J G, WANG J J. Carrier alliance incentive analysis
and coordination in a maritime transport chain based on
service competition [J]. Transportation Research Part
E: Logistics and Transportation Review, 2019, 128:
333-355.
- [19] ZHU S D, ZHENG S Y, GE Y E, et al. Vertical
integration and its implications to port expansion [J].
Maritime Policy & Management,2019,46(8):920-938.
- [20] MELITZ M J. The Impact of trade on intra-industry
reallocation and aggregate industry productivity [J].
Econometrica,2003(71):1695-1725.
- [21] 尹恒,迟炜栋. 增值税减税的效应:异质企业环境
下的政策模拟 [J/OL]. 中国工业经济,2022(2):
82-100.
YIN H, CHI W D. The effect of value added tax
reduction: policy simulation in a heterogeneous
enterprise environment [J/OL]. China Industrial
Economy, 2022(2):82-100. (in Chinese)
- [22] DONG G, LI J, LEE P T W. Vertical collusion in the
shipping container transport chain over the deregulation
tariff of port authority [J]. Applied Economics, 2021:
1-13.
- [23] SONG Z Z, TANG W S, ZHAO R Q. Cooperation mode
for a liner company with heterogeneous ports: business
cooperation vs. port investment [J]. Transportation
Research Part E: Logistics and Transportation Review,
2018,118:513-533.
- [24] 张得志,唐嘉欣,王臻杰. 公铁联运背景下内河港与
无水港竞合博弈研究[J]. 铁道科学与工程学报,
2022,19(1):42-51.
ZHANG D Z, TANG J X, WANG Z J. Research on the
competition and cooperation game between inland ports
and waterless ports in the context of highway rail
intermodal transport[J]. Journal of Railway Science and
Engineering, 2022-19(1):42-51. (in Chinese)
- [25] BORGER B D, DENDER K V. Prices, capacities and
service levels in a congestible Bertrand duopoly [J].
Journal of Urban Economics, 2006,60(2):264-283.
- [26] MATTEO B, KORT P M, HILDE M, et al. Port
capacity investment size and timing under uncertainty
and congestion [J]. Maritime Policy & Management,
2020,47(2):221-239.
- [27] BASSO L J, ZHANG A M. Congestible facility rivalry in
vertical structures [J]. Journal of Urban Economics,
2007,61(2):218-237.